

PAT-NO: JP409129958A  
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 09129958 A  
TITLE: VARIABLE-WAVELENGTH ELEMENT  
PUBN-DATE: May 16, 1997

INVENTOR-INFORMATION:  
NAME  
OKAYAMA, HIDEAKI

ASSIGNEE-INFORMATION:  
NAME OKI ELECTRIC IND CO LTD COUNTRY N/A

APPL-NO: JP07282725  
APPL-DATE: October 31, 1995

INT-CL (IPC): H01S003/133

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily control the wavelength of a variable-wavelength element by constituting the element in a 1/4-period shifting structure in which first and second super-period gratings are connected to each other in a state where the gratings are shifted from another by the 1/4 of the grating period corresponding to the center wavelength.

SOLUTION: When both gratings 23 and 25 of a variable-wavelength element reflect at the same wavelength ( $\lambda_0$ ), a waveguide 13 constitutes a resonator as a whole. Since a 1/4-period shifting structure 27 is provided, the structure of the element becomes the same as that of a DFB having a 1/4-shifting structure from the wavelength  $\lambda_0$ . Therefore, when this element is used as a semiconductor laser, the element oscillates at the wavelength  $\lambda_0$  and, when the element is used as a wavelength filter, the element can select the light having the wavelength  $\lambda_0$ . The oscillation wavelength of the element can be controlled easily when the reflecting wavelengths of the gratings 23 and 25 are variably controlled by supplying control currents I<sub>t1</sub> and I<sub>t2</sub> to the element respectively through electrodes 19a and 19b.

COPYRIGHT: (C)1997,JP

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-129958

(43)公開日 平成9年(1997)5月16日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 01 S 3/133

識別記号

府内整理番号

F I

H 01 S 3/133

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 OL (全8頁)

(21)出願番号

特願平7-282725

(22)出願日

平成7年(1995)10月31日

(71)出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72)発明者 岡山 秀彰

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

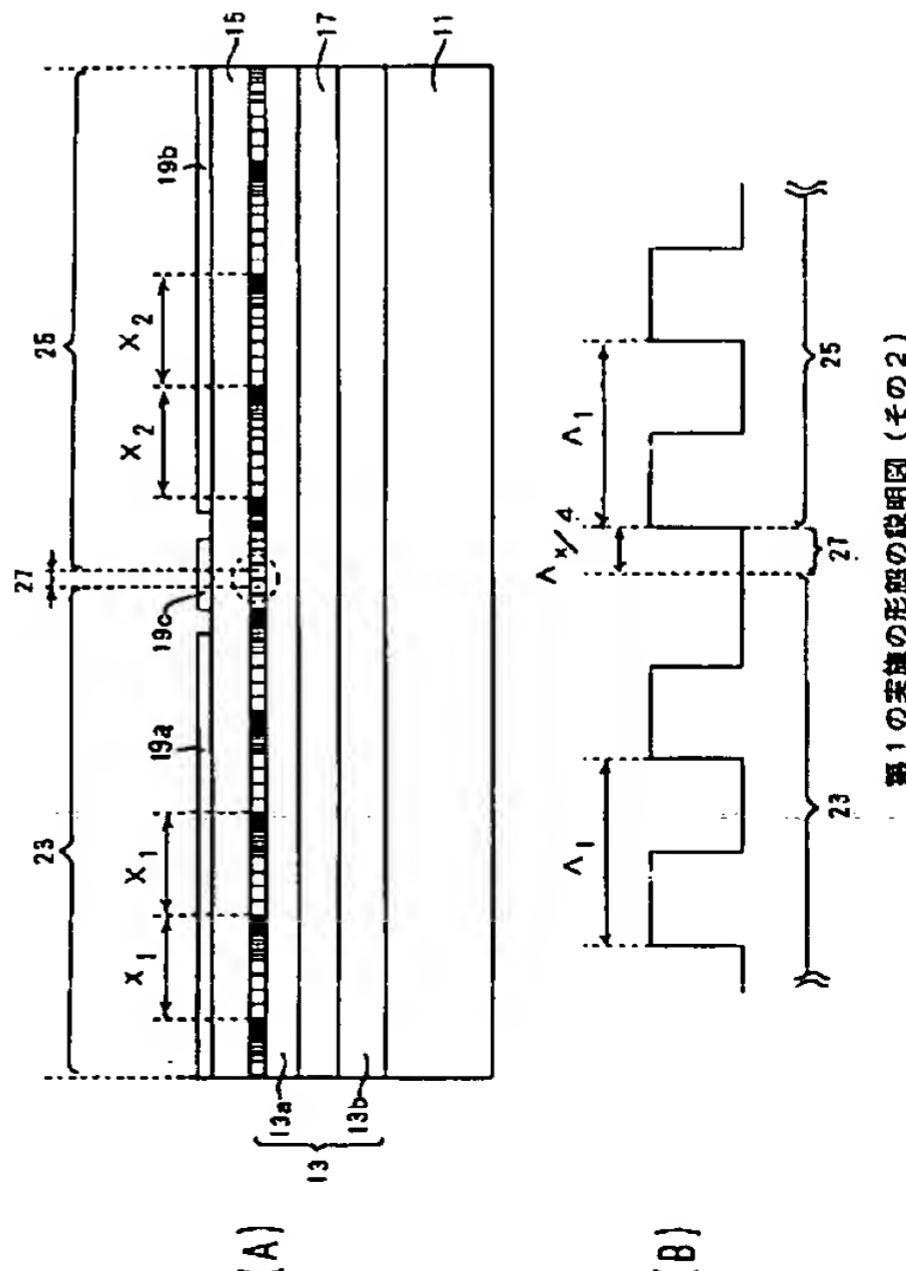
(74)代理人 弁理士 大垣 孝

(54)【発明の名称】 波長可変素子

(57)【要約】

【課題】 波長可変幅が従来と少なくとも同等でかつ波長選択時の制御が従来より簡単な波長可変素子を提供する。

【解決手段】 導波路13aに、反射波長が可変可能な第1の超周期グレーティング23と、反射波長が可変可能でかつ前記第1の超周期グレーティング23と中心波長が同じとされている第2の超周期グレーティング25と、これら第1および第2の超周期グレーティングを、前記中心波長に対応するグレーティングの周期の4分の1分ずらした状態で接続している4分の1周期シフト構造27とを具える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反射波長が可変可能な第1の超周期グレーティングと、

反射波長が可変可能でかつ前記第1の超周期グレーティングと中心波長が同じとされている第2の超周期グレーティングと、

これら第1および第2の超周期グレーティングを、前記中心波長に対応するグレーティングの周期の4分の1分ずらした状態で接続している4分の1周期シフト構造とを具えたことを特徴とする波長可変素子。

【請求項2】 請求項1に記載の波長可変素子において、

前記第1および第2の超周期グレーティングが同じ構造のものの場合、

これら第1および第2の超周期グレーティングが作り込まれた導波路とは別に該導波路とは等価屈折率の異なる導波路をさらに具えたことを特徴とする波長可変素子。

【請求項3】 請求項1または2に記載の波長可変素子において、

前記第1の超周期グレーティングの代わりに反射波長が可変可能な第1のサンプルグレーティングを具え、

前記第2の超周期グレーティングの代わりに、反射波長が可変可能でかつ前記第1のサンプルグレーティングと中心波長が同じとされている第2のサンプルグレーティングを具えたことを特徴とする波長可変素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、発振波長を可変できる半導体レーザあるいは選択波長を可変できる波長フィルタ等として用い得る波長可変素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】この種の波長可変素子の従来例として例えば文献I(Photonics Technology Letters) Vol.5, No.6, pp.613-615(1993 June)に開示されている波長可変レーザがあった。このレーザは、第1の超周期グレーティングと、活性域と、位相調整域と、前記第1の超周期グレーティングとは周期の異なる第2の超周期グレーティングとを従属接続して構成されたD B R型の構造を有したものであった(例えば文献IのFig. 3)。さらに、第1の超周期グレーティング、活性域、位相調整域および第2の超周期グレーティングそれが個別の電極により制御される構造のものであった。第1および第2の二つのグレーティングは、波長に対してそれぞれ櫛状の反射ピークを示すので、バーニア目盛効果を利用できる。そのためこの波長可変レーザでは、広帯域波長可変特性が実現されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながらこの構造では、活性域が二つのグレーティングの間に存在する構

造となっているので、発振波長を制御するに当たっては、反射波長を調整するための電極および共振モードの位相を調整するための電極の双方の注入電流の制御をしなければならず、制御が複雑であるという欠点を有していた。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明の波長可変素子によれば、反射波長が可変可能な第1の超周期グレーティングと、反射波長が可変可能でかつ前記第1

10 の超周期グレーティングと中心波長が同じとされている第2の超周期グレーティングと、これら第1および第2の超周期グレーティングを、前記中心波長に対応するグレーティングの周期の4分の1分ずらした状態で接続している4分の1周期シフト構造とを具えたことを特徴とする。

【0005】なお、この発明において、超周期グレーティングの代わりに反射波長が可変可能な第1のサンプルグレーティングを具え、かつ、前記第2の超周期グレーティングの代わりに、反射波長が可変可能でかつ前記第1のサンプルグレーティングと中心波長が同じとされた第2のサンプルグレーティングを具えた構成としても良い。

## 【0006】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の実施の形態について説明する。なお、説明に用いる各図はこの発明を理解出来る程度に各構成成分の寸法、形状および配置関係を概略的に示してある。また、各図において同様な構成成分については同一の番号を付して示してある。

## 30 【0007】1. 第1の実施の形態

図1～図4はこの発明の第1の実施の形態を説明する図である。特に、図1は第1の実施の形態の波長可変素子の斜視図、図2(A)は図1のI-I線に沿った断面図(ただし、超周期グレーティングを用いた例の図)、図2(B)は図2(A)中のP部分の拡大図、図3は動作説明に供する図、また、図4はサンプルグレーティングを用いた場合の図2に対応する図である。

【0008】図1および図2において、11は化合物半導体基板、13は活性導波路、15は第1のクラッド、40 17は第2のクラッド、19aは第1電極、19bは第2電極、19cは第3電極、19dは第4電極、21は絶縁膜をそれぞれ示す。さらに、23はこの発明でいう第1の超周期グレーティング、25はこの発明でいう第2の超周期グレーティング、27はこの発明でいう4分の1周期シフト構造をそれぞれ示す。

【0009】ここで、活性導波路13は、この場合、第1の導波路13aおよび第2の導波路13bで構成してある。第1の導波路13aは屈折率調整用の導波路として機能し、第2の導波路13bは増幅機能を有する導波路として機能する。そして、第2の導波路13b、第2

のクラッド17、第1の導波路13aおよび第1のクラッド15を、基板11上に、この順に積層した構造としてある。ただし、第2の導波路13b、第1の導波路13aおよび第1のクラッド15はいずれもストライプ状の層としてある。また、絶縁層21を、基板11上であって、第2の導波路13bの脇に当たる部分上に、第2の導波路13bの厚さと同程度の厚さで設けてある。そして、上記第2のクラッド17は、この絶縁層21上にまで及んで設けてある。

【0010】また、第1の超周期グレーティング23、第2の超周期グレーティング25および、4分の1周期シフト構造27それぞれは、この場合第1の導波路13aの表面に形成してある（詳細は後述する）。

【0011】また、第1～第3電極19a～19cは互いに電気的に独立しているものである。そして、第1電極19aは、第1のクラッド15上であって第1の超周期グレーティング23と対向する部分上に設けてあり、第1電極19bは、第1のクラッド15上であって第2の超周期グレーティング25と対向する部分上に設けてあり、第3電極19cは、第1のクラッド15上であって4分の1周期シフト構造27と対向する部分上に設けてある。ただし、第3電極19cは第1および第2の超周期グレーティングと対向する部分上に一部かかって設けてある。また、第4電極19dは基板11の裏面に設けてある。そして、第2のクラッド17を、第1～第4電極19a～19dの共通の対向電極として機能するように、接地電位としている。

【0012】なお、図1および図2を用い説明した波長可変素子における各構成成分は、設計に応じた任意好適な材料で構成出来る。これに限られないが、化合物半導体基板11の構成材料としては例えば第1導電型（例えばn型）InP基板を、また第2のクラッド17の構成材料としては例えば第2導電型InP層を、また第1のクラッド15の構成材料としては第1導電型InP層を、また第1および第2導波路13a、13bの構成材料としてはそれぞれ所定の組成（第1および第2の導波路の目的に適した組成）の四元系材料例えばInGaAsP層を、それぞれ挙げることが出来る。

【0013】次に、図2を主に参考して第1および第2の超周期グレーティング23および25と、4分の1周期シフト構造27について、さらに詳細に説明する。

【0014】第1の超周期グレーティング23は、凹凸の周期が徐々に変化（例えば $\lambda_1$ から $\lambda_n$ に徐々に変化）している部分（チャーピングされている部分）を周期 $X_1$ で繰り返し具えた構成となっている。一方、第2の超周期グレーティング25は、凹凸の周期が第1の超周期グレーティングと同じに徐々に変化している部分を周期 $X_2$ で繰り返し具えた構成となっている（ $X_1 \neq X_2$ ）。これら第1および第2の超周期グレーティング23、25それぞれは、図3に示したように、一定間隔ご

との波長の光を反射する特性を示すものになる。ただし、反射波長間の間隔a、bは、超周期グレーティング23、25における長い周期（上記の $X_1$ や $X_2$ ）が異なるので、異なったものになる。また、両グレーティング23、25共に、凹凸の変化具合が同じとしてあるので、両グレーティング23、25の中心波長（例えば電極への注入電流が0のときの上記一定間隔の複数の反射波長の平均値）は同じとなる。

- 【0015】また、4分の1周期シフト構造27は、第1および第2の超周期グレーティング23、25を、上記中心波長に対応するグレーティングの周期の4分の1分ずらした状態で接続するものである。ここでは、図2(B)に示したように、第1の超周期グレーティング23の凹凸部分と、第2の超周期グレーティング25の凹凸部分とが、中心波長に対応するグレーティング周期 $\lambda_x$ の4分の1に当たる分ずれた状態で接続されるようにして、4分の1周期構造27を構成している。ただし、 $\lambda_x$ とは、中心波長を $\lambda_x$ と表したとした場合、 $\lambda_x = 2n\lambda_1$ （プラグ反射条件）を満足する周期である。
- 20 なお、2つの超周期グレーティング23、25をそれぞれのどの部分において4分の1周期シフトにより接続するかは、設計に応じ決める。具体的には、①：長い周期 $X_1$ 、 $X_2$ の終端同士を4分の1周期シフト構造27で接続する場合、②：長い周期 $X_1$ 、 $X_2$ の途中同士を4分の1周期シフト構造27で接続する場合、③：一方のグレーティングは長い周期 $X_1$ または $X_2$ の終端において、他方のグレーティングは長い周期 $X_1$ または $X_2$ の途中において、4分の1周期シフト構造27で接続する場合のいずれか好適な接続構造とする。
- 30 【0016】次に、この第1の実施の形態の波長可変素子の動作について説明する。図3を用いて既に説明したが、この波長可変素子に具わる第1の超周期グレーティング23および第2の超周期グレーティング25それぞれは、一定間隔の波長で反射する特性を有するものとなる。しかも、両グレーティング23、25における長い方の周期（上記の $X_1$ 、 $X_2$ ）を異ならせてあるのでピク間の波長間隔は両グレーティングで異なるものとなる。両グレーティング23、25それが同一の波長（ $\lambda_0$ ）で反射する時には導波路13全体で共振器を構成する。そして4分の1周期シフト構造27を設けているので、 $\lambda_0$ 中心の4分の1シフト構造のDFBと同一構造となる。したがって、半導体レーザとする場合は入 $\lambda_0$ の波長で発振し、波長フィルタとする場合は波長 $\lambda_0$ の光を選択できる。ここで発振波長（波長フィルタとする場合であれば選択波長）の制御は、電極19aを介しこの波長可変素子に供給される制御電流 $I_{t1}$ と、電極19bを介しこの波長可変素子に供給される制御電流 $I_{t2}$ によって、各サンプルグレーティング23、25の反射波長を可変制御することにより、行なえる。すなわち、波長 $\lambda_0$ が重なるよう両グレーティングを制御す
- 40
- 50

る(図3参照)。後は電極19cを介しこの波長可変素子に供給される電流I<sub>p</sub>による位相の微調整を行なうが、4分の1周期シフト構造27を設けているので、両グレーティング23、25の波長チューニングを行っても位相は大きくは変化しないために、I<sub>p</sub>の制御は殆ど波長チューニングとは関係せず行なえる。このため、波長選択制御は2つの電極の制御で良いので従来に比べ容易となる。また、I<sub>p</sub>による制御自体が無用(電極19c自体が無用)になる場合も考えられる。これらのことから、バーニア目盛効果を利用した波長可変素子であつて波長選択の制御が従来に比べ容易な波長可変素子が得られる。なお、この実施の形態の素子の場合、第4の電極19dを介し第2の導波路13bに電流I<sub>a</sub>を注入することにより光の增幅率を調整することができるので、この点でも便宜である。

【0017】なお、上述においては超周期グレーティングを用いた例を説明した。しかし、第1の超周期グレーティング23の代わりに反射波長が可変可能な第1のサンプルグレーティングを用い、かつ、第2の超周期グレーティング25の代わりに、反射波長が可変可能でかつ第1のサンプルグレーティングと中心波長が同じとされている第2のサンプルグレーティングを用いても、上述の波長可変素子と同様な効果が得られる。この場合の構成例を図4に図2に対応する表記方法で示した。この場合は、第1のサンプルグレーティング31は、周期Λで凹凸が連続する部分31aと凹凸の無い部分31bとかなる1単位部分を周期X<sub>1</sub>で繰り返し具えた構成となっている。一方、第2のサンプルグレーティング33は、周期Λで凹凸が連続する部分33aと凹凸の無い部分33bとかなる1単位部分を周期X<sub>2</sub>で繰り返し具えた構成となっている(X<sub>1</sub> ≠ X<sub>2</sub>)。そして、この第1のサンプルグレーティング31の凹凸部分と第2のサンプルグレーティング33の凹凸部分とが中心波長に対応するグレーティング周期Λ<sub>x</sub>の4分の1に当たる分ずれた状態で接続されるように、4分の1周期構造27を設けてある。この図4に示した素子の場合も、第1および第2のサンプルグレーティング31、33は、上述の超周期グレーティングを用いた素子同様、一定間隔ごとの波長の光を反射する特性を示すグレーティングとなる。また、反射波長間の間隔は、サンプルグレーティング31、33における長い周期(上記のX<sub>1</sub>やX<sub>2</sub>)が異なるので、異なるものになる。また、両グレーティング31、33共に、凹凸の周期がΛと同じとしてあるので、両グレーティング31、33の中心波長(上記一定間隔の複数の反射波長の平均値)は同じとなる。このため、この素子も、図2に示した素子と同様な動作をする。

【0018】次に、数式を用いて、この発明の波長変換素子の動作についてさらに説明する。なお、この説明の際の基となる解析は文献II(アイイ-アイシ-イ-トランザクション

ズ・オン・エレクトロニクス(IEICE Transactions on Electronics)vol. E76-C, pp. 1683-1689(1993.November))、文献III(インテグレーテッド・オプティクス(Integrated Optics), R. Marz 著(1994), Artech House社)に説明されている。

【0019】文献IIより、超周期グレーティングのグレーティングによる屈折率変化Δnはフーリエ級数により次式で表される。

$$【0020】 \Delta n = n_1 \operatorname{Re} \left\{ \sum F_k \exp [i 2(k \beta_s + \beta_0) z] \right\}$$

10 ここではn<sub>1</sub>は変調の大きさを表す係数である。また、F<sub>k</sub>はフーリエ変換の係数である。また、β<sub>0</sub>は平均のブレーカー波長である。また、β<sub>s</sub> = 2π/Xであり、また、このXは超周期グレーティングの超周期(図2中のX<sub>1</sub>やX<sub>2</sub>)、あるいはサンプルグレーティングを用いる場合ではサンプル周期(図4中のX<sub>1</sub>やX<sub>2</sub>)に対応する。文献IIより、反射波Rと前進波Sとの間の結合方程式は次式となる。

【0021】

$$-R' + aR = \sum i x F_k \cdot \exp(i 2 \delta_k z) S$$

$$20 S' + aS = \sum i x F_k \exp(-i 2 \delta_k z) R$$

ここでaは吸収係数、xは結合係数であり

$$\delta_k = \beta - k \beta_s - \beta_0$$

$$\beta = 2 n_w \pi / \lambda \quad n_w : \text{導波光の等価屈折率}$$

である。これから、δ<sub>k</sub> = 0となるk = 1, 2, 3……に対応した各波長においてk = 0の通常のブレーカー反射波長の場合とまったく同一の状態になることが理解される。従って、位相は通常のブレーカー反射と同様に反射波長では反射波は進行波に対してδ<sub>k</sub> = 0のとき、φ = a tan(q<sub>k</sub> / δ<sub>k</sub>) → π/2 (|xF<sub>k</sub>| L → ∞のとき)で表される。従って、その位相は通常のブレーカー反射と変わりがない。4分の1周期シフト構造27による位相は

$$\phi_4 = \pi \beta / (2 \beta_0)$$

であるが、反射ピークではδ<sub>k</sub> = 0よりβ = k β<sub>s</sub> + β<sub>0</sub>であり

$$\phi_4 = \pi / 2 + \pi k \beta_s / (2 \beta_0)$$

となる。k = 0と同一の位相となるには

$$\pi k \beta_s / (2 \beta_0) = 2 \pi m \quad m : \text{整数}$$

$$\beta_s = 4 \beta_0 m' \quad m' : \text{整数} = k / m$$

40 となる必要がある。以上は同一の超周期グレーティングの間の4分の1周期シフト構造での話であったが、このような条件であれば

$$\phi_4 = \pi / 2 + 2 \pi k m'$$

となってφ<sub>4</sub>は2πの不定性を除いてはkによらなくなる。したがって異なる超周期グレーティングの間の4分の1周期シフト構造も、同一の超周期グレーティングの間の4分の1周期シフト構造同様に動作する。

【0022】次に光の振幅を求めてみる。反射波の成分をB<sub>t</sub>、透過波の成分をA<sub>t</sub>とおき、簡単のため吸収係数a = 0とすると反射波長域では

7

$$A_t = A A' \exp(i\phi_4) + B B' \cdot \exp(-i\phi_4)$$

$$B_t = B^* A' \exp(i\phi_4) + A^* B' \cdot \exp(-i\phi_4)$$

ただし、A, Bは

$$A = \cosh(|q_k|L) - i\delta_k \sinh(|q_k|L) / |q_k|$$

$$B = i x F_k \sinh(|q_k|L) / |q_k|$$

であり、また  $q_k^2 = 4 x F_k^2 - \delta_k^2$  である。また、 $A'$ 、 $B'$  は上記 A、Bにおいて  $\delta_4'$ 、 $x F_k'$  としたものである。 $A'$ 、 $B'$  と A、B はそれぞれ前段、後段の透過振幅、反射振幅となっている。 $\delta_k = \delta_k' = 0$  の反射ピーク中心においては

$$A_t = i [\cosh(|x F_k|L) \cosh(|x F_k'|L) + \sinh(|x F_k|L) \sinh(|x F_k'|L)]$$

$$B_t = \sinh(|x F_k|L) \cosh(|x F_k'|L) - \cosh(|x F_k|L) \sinh(|x F_k'|L)]$$

となる。したがって  $x F_k$  と  $x F_k'$  がほぼ同一であれば、通常の（均一グレーティング型の）4分の1の波長シフト DFB と同様に各ブレグ波長 ( $\delta_k = \delta_k' = 0$  となる波長) で透過 ( $A_t = i$ 、 $B_t = 0$ ) となる。

### 【0023】2. 第2の実施の形態

上述においては、第1のグレーティングおよび第2のグレーティングの超周期やサンプル周期 ( $X_1$  や  $X_2$ ) が異なる場合の例を説明した。しかし、この発明は第1の超周期グレーティング 23 と第2の超周期グレーティング 25G と同じ構造の場合、また、第1のサンプルグレーティング 31 と第2のサンプルグレーティング 33 と同じ構造の場合にも、それぞれ適用出来る。すなわち、図2や図4を用いて説明した構成において  $X_1 = X_2$  の場合にもそれぞれ適用できる。この第2の実施の形態はその例である。以下これについて説明する。この説明を図5～図7を参照して説明する。ここで、図5は第2の実施の形態の素子の全体を示した斜視図、図6は図5のII-II線における断面図（ただし、サンプルグレーティングを用いた例の図）、図7は動作説明に供する図である。

【0024】図2や図4を用いて説明した構成において単に  $X_1$  および  $X_2$  を  $X_1 = X_2$  となるように変更するのみであると、発振波長（フィルタを構成する場合は選択波長）の制御の際に、複数の反射波長に対応する発振波長で発振したり複数の選択波長でフィルタリングを行なわれてしまう。なぜなら第1および第2のグレーティングが同じ構造ゆえ、両グレーティングは同じ反射特性をもつからである。そこでこの場合は、図5および図6に示したように、第1および第2の超周期グレーティング（或は第1および第2のサンプルグレーティング）を同じ構造のグレーティング 41、43 とし、かつ、これ

8

らを4分の1周期シフト構造 27 で接続した構成と共に、これらグレーティング 41、43 が作り込まれた導波路 13a とは別に、この導波路 13a とは等価屈折率の異なる（屈折率差  $\Delta n$ ）導波路 13x をさらに設ける。具体的には、この第2の実施の形態では、第1の実施の形態で説明した第2の導波路 13b を設けていた位置に、これの代わりに、第1の導波路 13a とは透過屈折率の異なる導波路 13x を設けている。またさらにこの第2の実施の形態では、波長可変の便宜のため導波路 13x は第3のグレーティング 45 を具えたものとしてある（詳細は後述する。）。

【0025】次に、この第2の実施の形態の波長可変素子の理解を深めるためにその動作について説明する。構造が互いに同じとされた第1および第2のサンプルグレーティング 41、43 それぞれは、図7の上部分に示したように、一定間隔の波長で反射する特性を有することになる。また、第3のグレーティング 45 による波長選択特性は、図7の下部分に示したように、ある波長（ただし第4電極によってある程度可変される）にピークを持つものとなる。第1～第3のグレーティング 41、43、45 で同一の波長 ( $\lambda_0$ ) で反射するときには、第1の導波路 13a と、この第1の導波路 13 とは透過屈折率の異なる導波路 13x とからなる活性導波路 13 全体で、共振器を構成する。また、4分の1周期シフト構造を設けているのでこの第2の実施の形態の素子も第1の実施の形態同様  $\lambda_0$  中心の4分の1シフト構造のDFB と同一構造になる。したがって、 $\lambda_0$  の波長で発振する。ここで、発振波長の制御は第1及び第2のグレーティング 41、43 を制御する制御電流  $I_{t3}$  と、第3のグレーティングを制御する制御電流  $I_{t4}$  とで済む。後は電極 19c を介しこの波長可変素子に供給される電流  $I_p$  による位相の微調整が入るが、4分の1周期シフト構造 27 を設けているので、両グレーティング 41、43 の波長チューニングを行っても位相は大きくは変化しないために、 $I_p$  の制御は殆ど波長チューニングとは関係せず制御は容易となる。すなわち、発振波長の制御は2つの電極の制御で済む。

【0026】なお、発振波長の制御において第2のグレーティング 41、43 は選択波長の微調整に寄与する。制御電流  $I_{t3}$  による屈折率変化を  $\delta n$  とすると、第1および第2のグレーティング 41、43 での選択波長の変化率は  $\delta n/n$  である。ただし、n は第1の導波路 13a の透過屈折率である。また、第1及び第2のグレーティング 41、43 による波長選択の半値幅は、波長を  $\lambda$  とし波長選択素子の素子長を  $L$  とした場合、 $\lambda^2 / (2 n L)$  程度である。したがって、 $L = 500 \mu m$  の場合でかつ扱う波長帯が 1500 nm 前後である場合でかつ第1導波路の屈折率が  $I_{NP}$  によるものである場合、上記半値幅は 0.7 nm 程度となる。一方、第3のグレーティング 45 での選択波長の変化は、制御電流  $I$

$t_4$ による導波路13xの屈折率変化を $\delta n$ とすると、 $\delta n / \Delta n$ 程度である。ここで、 $\Delta n$ は既に述べたように導波路13aと13xとの等価屈折率差である。したがって、導波路13xにおける $\delta n$ を $10^{-2}$ 、 $\Delta n$ を $10^{-1}$ とすれば、第3のグレーティング45での選択波長の変化は $100\text{ nm}$ 以上となるので、この第2の実施の形態の場合も、波長可変幅が広く、かつ、動作時の制御が従来より簡単な波長可変素子が得られる。

## 【0027】

【発明の効果】上述した説明から明らかなようにこの発明の波長可変素子によれば、反射波長が可変可能な第1の超周期（またはサンプル）グレーティングと、反射波長が可変可能でかつ前記第1のグレーティングと中心波長が同じとされている第2の超周期（またはサンプル）グレーティングと、所定の4分の1周期シフト構造とを具えたので、波長選択制御は第1及び第2のグレーティングについての制御のみで良くなる。このため、波長可変幅は従来と少なくとも同等でかつ波長選択制御は従来より簡単な波長可変素子が得られる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態の説明図（その1）であり、第1の実施の形態の素子の斜視図である。

【図2】第1の実施の形態の説明図（その2）であり、第1の実施の形態の素子の断面図および要部説明図である。

【図3】第1の実施の形態の説明図（その3）であり、第1の実施の形態の素子の動作説明に供する図である。

【図4】第1の実施の形態の説明図（その4）であり、グレーティングをサンプルグレーティングとした場合の素子の断面図および要部説明図である。

【図5】第2の実施の形態の説明図（その1）であり、第2の実施の形態の素子の斜視図である。

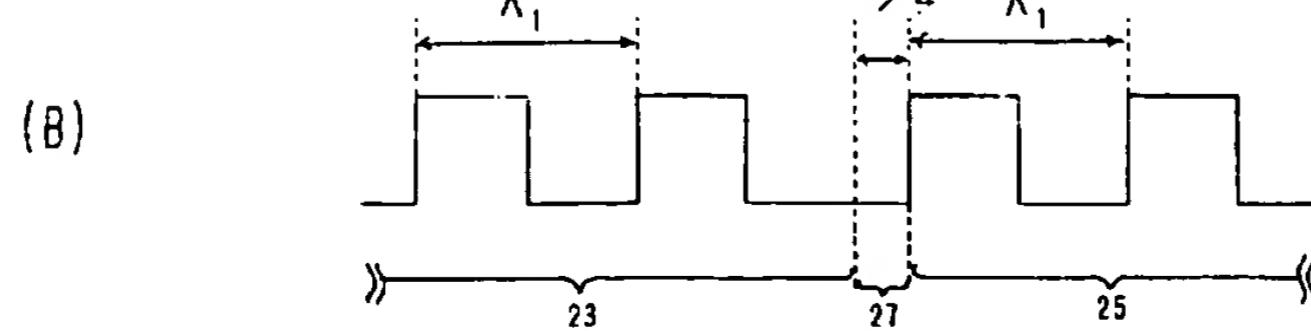
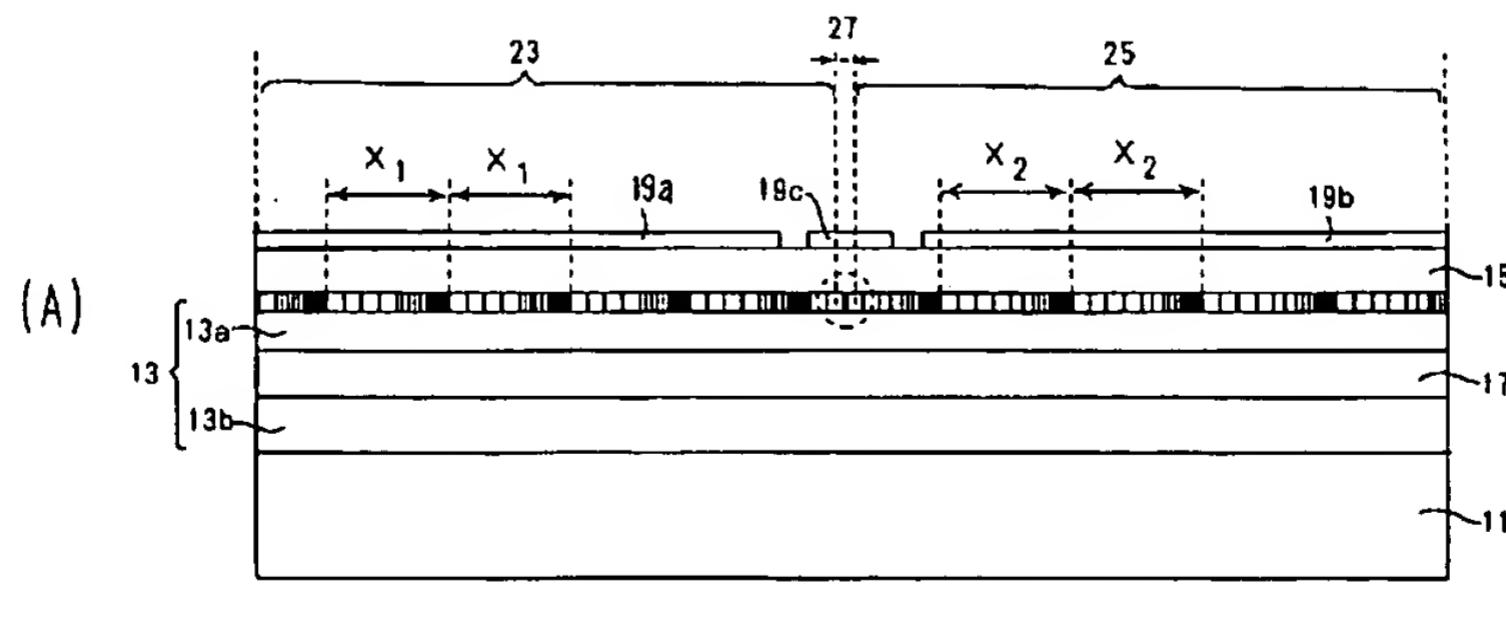
【図6】第2の実施の形態の説明図（その2）であり、第2の実施の形態の素子の断面図および要部説明図である。

【図7】第2の実施の形態の説明図（その3）であり、第2の実施の形態の素子の動作説明に供する図である。

## 【符号の説明】

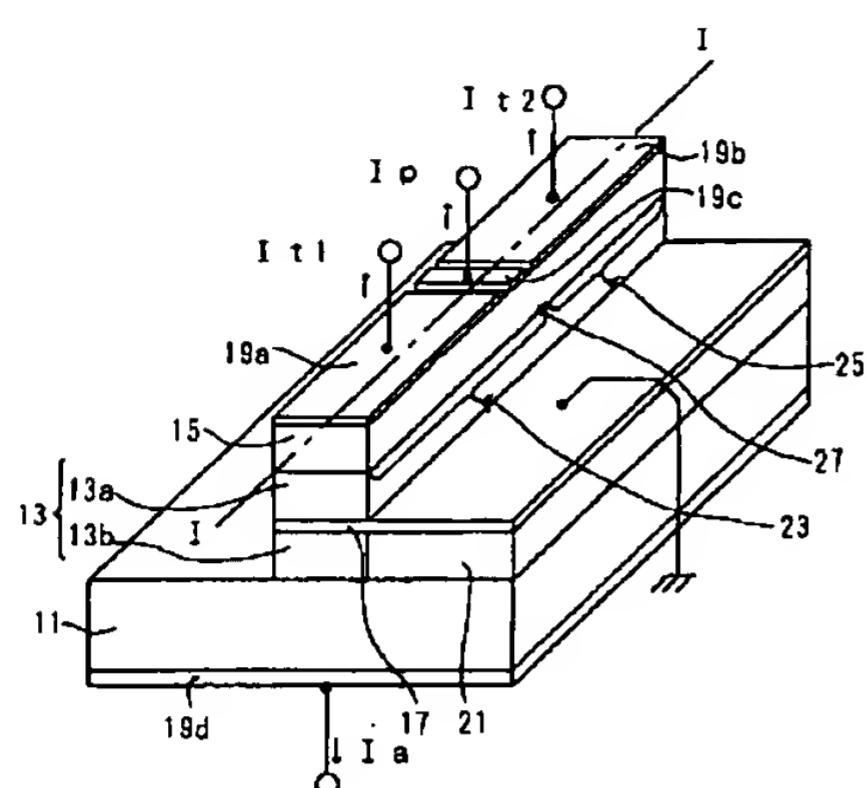
- |     |   |
|-----|---|
| 11  | 化合物半導体基板                                |
| 13  | 活性導波路                                   |
| 13a | 第1の導波路                                  |
| 13b | 第2の導波路                                  |
| 13x | グレーティングが作り込まれた導波路とは等価屈折率が異なる導波路         |
| 15  | 第1のクラッド                                 |
| 17  | 第2のクラッド                                 |
| 19a | 第1電極                                    |
| 19b | 第2電極                                    |
| 19c | 第3電極                                    |
| 19d | 第4電極                                    |
| 21  | 絶縁膜                                     |
| 23  | 第1の超周期グレーティング                           |
| 25  | 第2の超周期グレーティング                           |
| 27  | 4分の1周期シフト構造                             |
| 31  | 第1のサンプルグレーティング                          |
| 33  | 第2のサンプルグレーティング                          |
| 41  | 第1の超周期（又はサンプル）グレーティング                   |
| 43  | 第1のグレーティング41と同じ構造の第2の超周期（又はサンプル）グレーティング |

【図2】



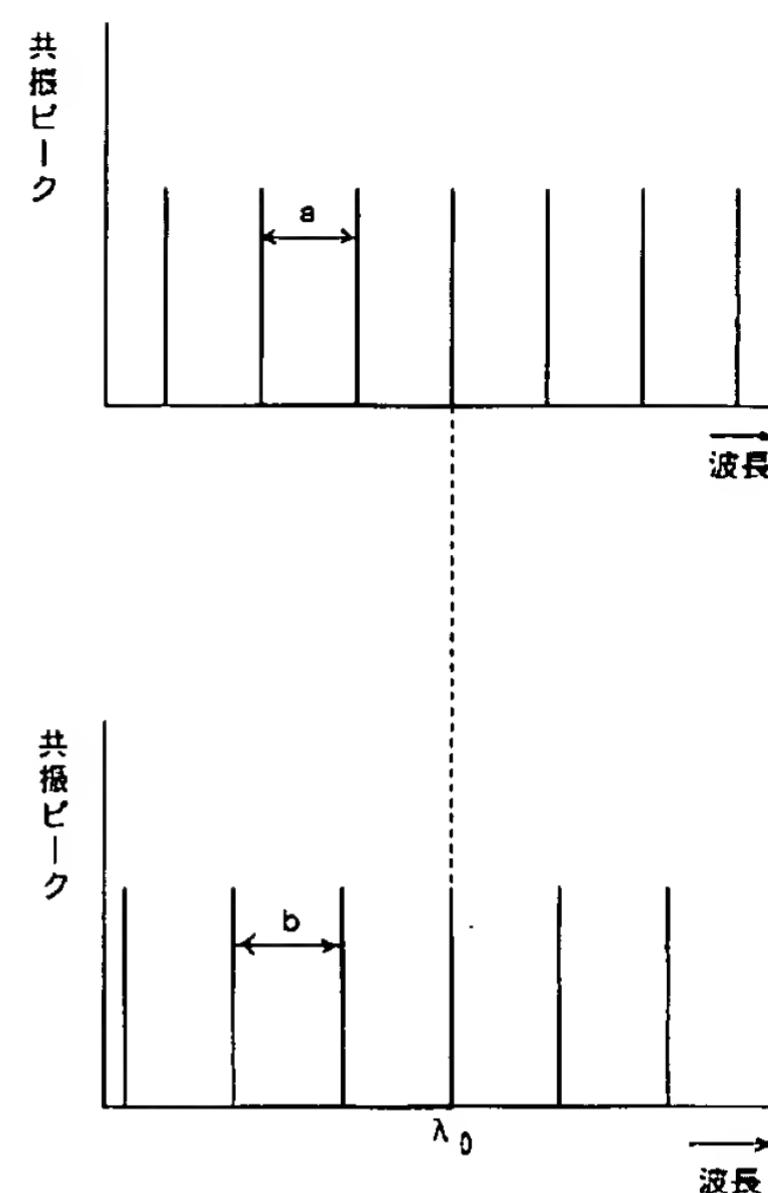
第1の実施の形態の説明図（その2）

【図1】



- 11 : 化合物半導体基板  
13a : 第1の導波路  
15 : 第1のクラッド  
19a : 第1電極  
19c : 第3電極  
21 : 裸線膜  
25 : 第2の超周期グレーティング  
13 : 活性導波路  
13b : 第2の導波路  
17 : 第2のクラッド  
19b : 第2電極  
19d : 第4電極  
23 : 第1の超周期グレーティング  
27 : 4分の1周期シフト構造

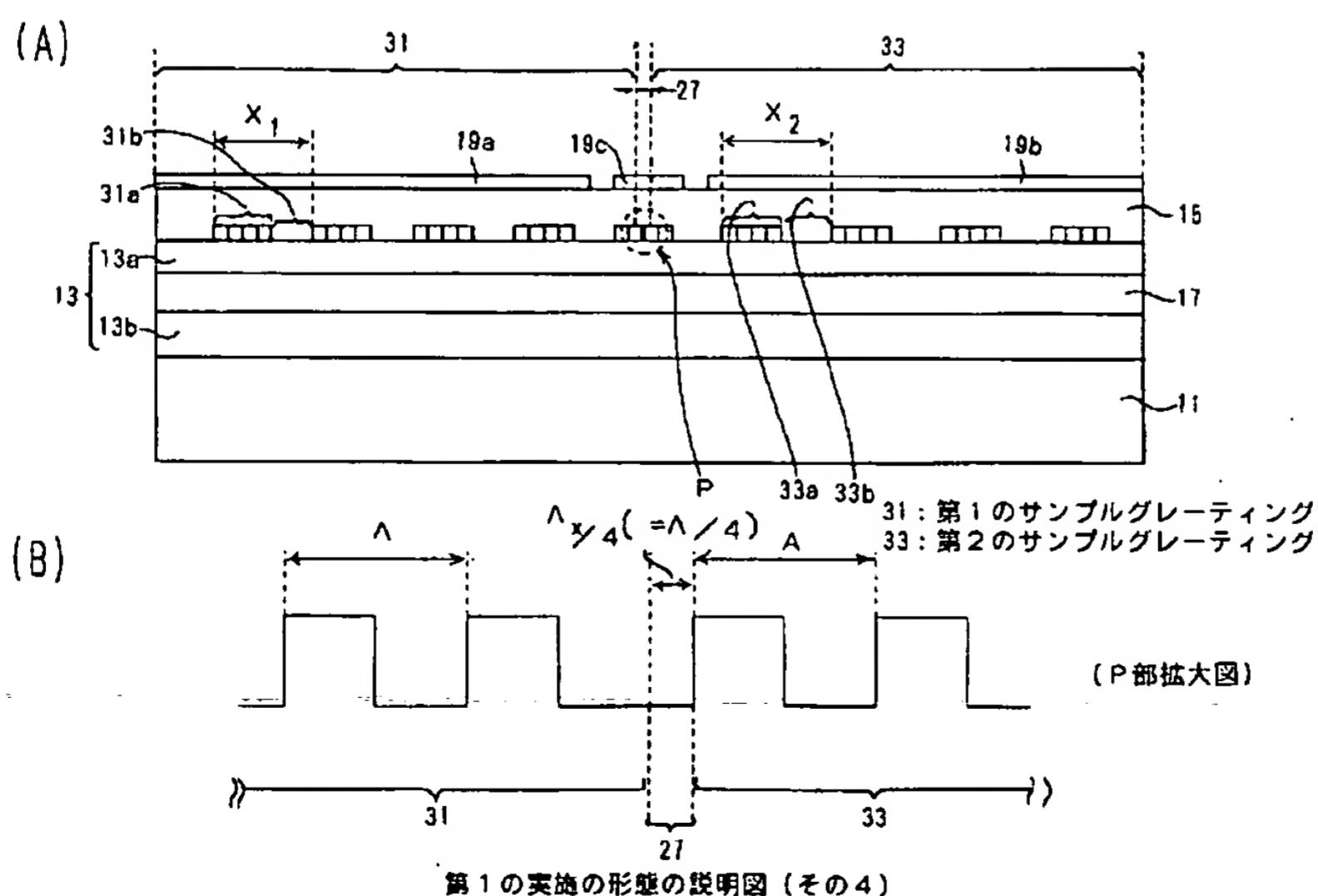
【図3】



第1の実施の形態の説明図(その1)

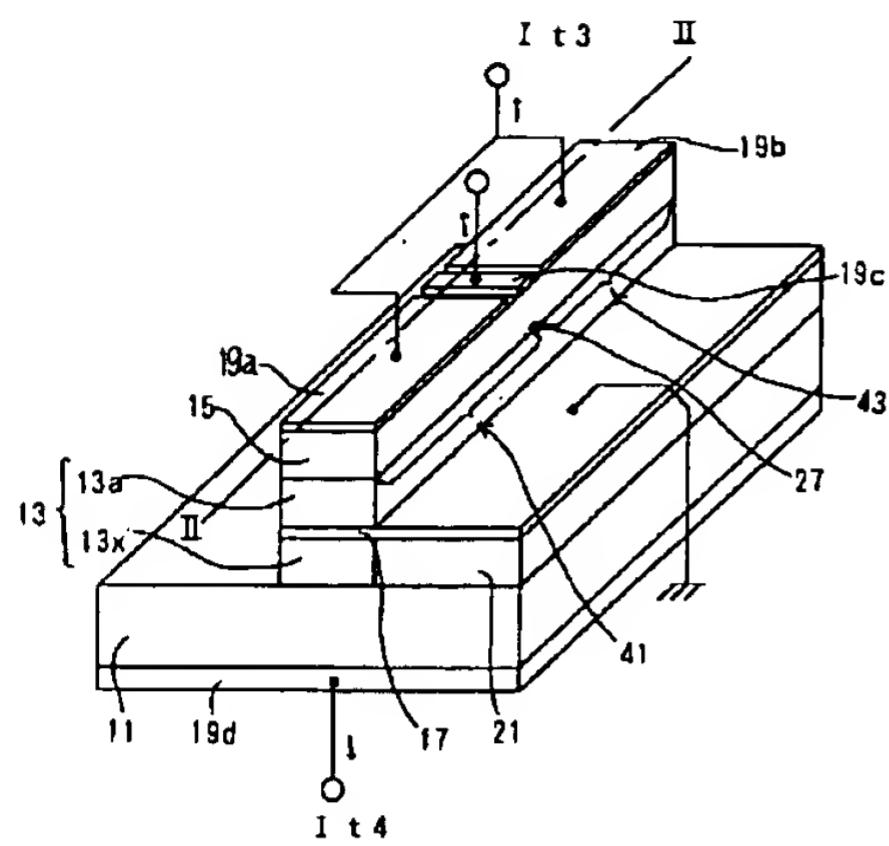
第1の実施の形態の説明図(その3)

【図4】



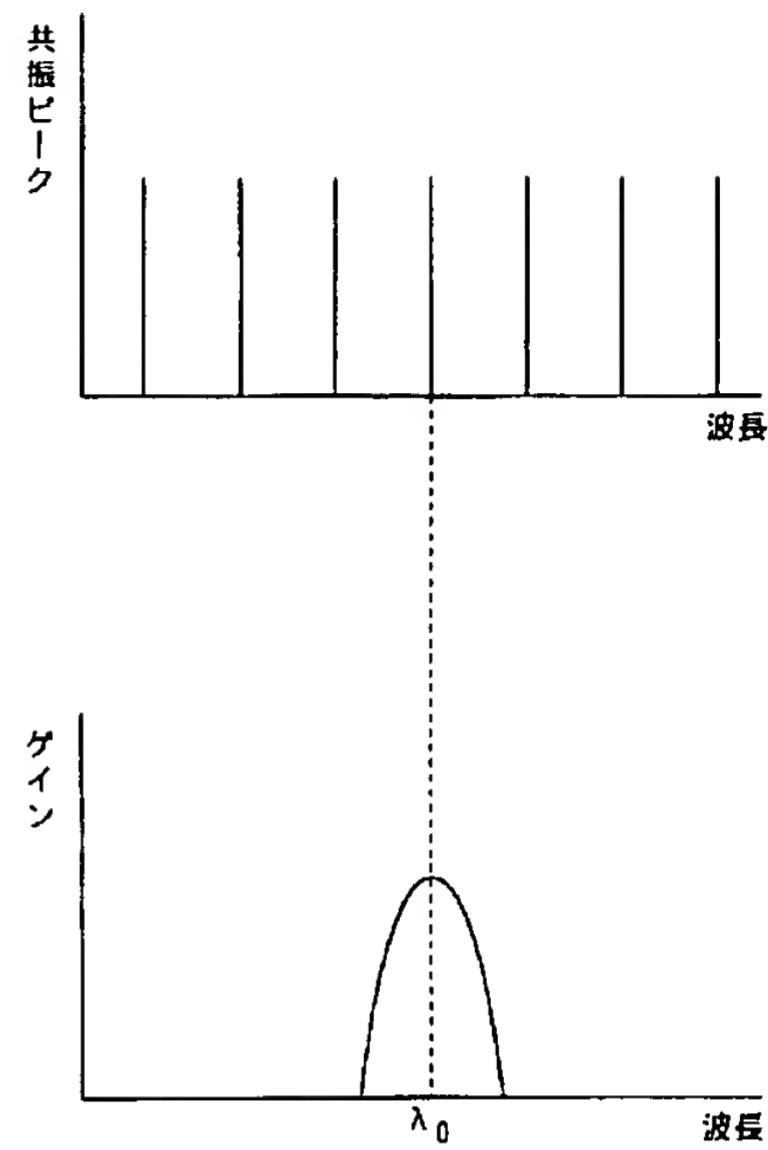
第1の実施の形態の説明図(その4)

【図5】



41 : 第1の超周期（又はサンプル）グレーティング  
 43 : 第1のグレーティング41と同じ構造の  
 第2の超周期（又はサンプル）グレーティング  
 13x : グレーティングが作り込まれた導波路とは  
 等価屈折率が異なる導波路

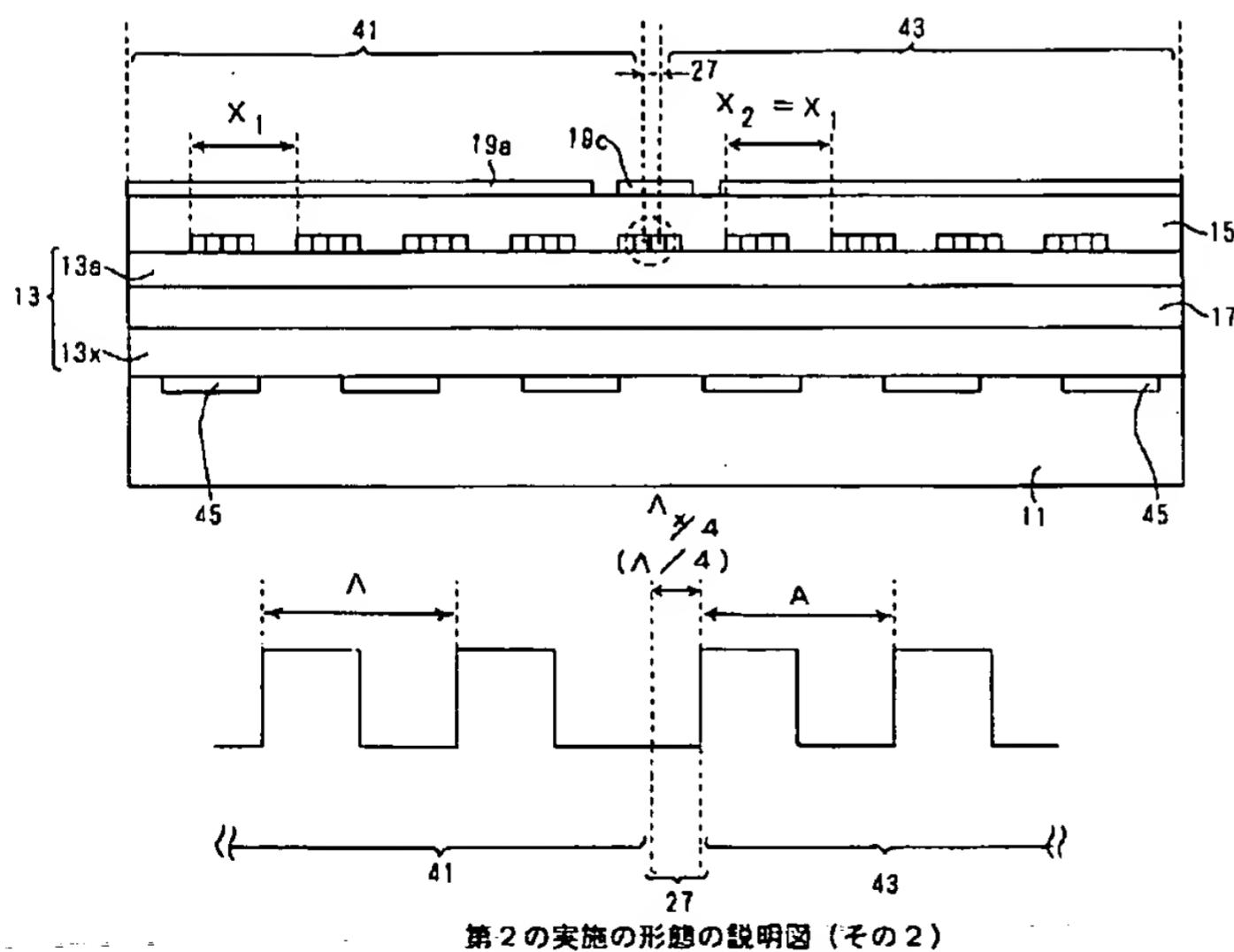
【図7】



第2の実施の形態の説明図（その1）

第2の実施の形態の説明図（その3）

【図6】



第2の実施の形態の説明図（その2）